

DE19537499

Publication Title:

Autostereoscopic image reproduction device

Abstract:

The device (5) includes a first projector (4.1) and a second projector (4.2) projecting an image determined for a left eye (AL) and a right eye (AR) of a viewer. An optical arrangement (FL) in the projection path of both projectors concentrates the light from the projectors to the respective eye. A detection unit (12) determines the eye view direction ( $n_1$ ,  $n_2$ ) and the position. A first calculation unit (1), connected to the detection unit, calculates a convergence distance (KE) from the view direction and the eye positions, and a focusing device (14), focusses both the images in the convergence distance. An input is provided for recording an image data record representing a spatial scene, containing the coordinate values (X, Y, Z) and the image information values (L, C), for a number of scene points. A second calculation unit (2) calculates a distance of the individual points to the viewer. A third calculation unit (3) evaluates an image definition value (S) for the image data record points from the difference between the distance value and the convergence distance. An image processing unit (10) calculates the image according to a predetermined perspective and the reduced definition value.

-----  
Data supplied from the esp@cenet database - <http://ep.espacenet.com>



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 195 37 499 A 1

51 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
H 04 N 13/04  
A 61 B 3/113  
G 03 B 35/20

21 Aktenzeichen: 195 37 499.1  
22 Anmeldetag: 25. 9. 95  
43 Offenlegungstag: 27. 3. 97

DE 195 37 499 A 1

71 Anmelder:

Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin  
GmbH, 10587 Berlin, DE

74 Vertreter:

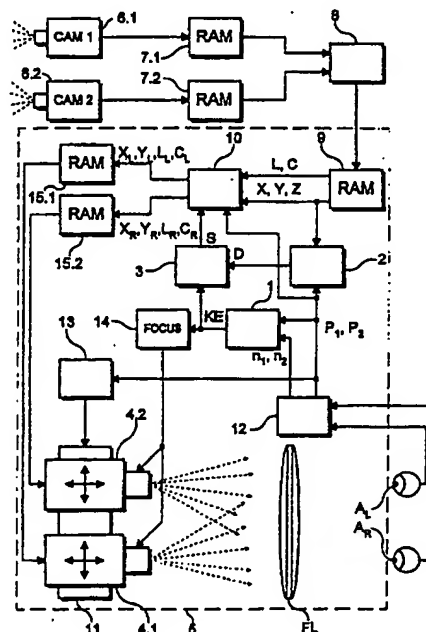
Christiansen, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 14195 Berlin

72 Erfinder:

Boerger, Georg, Prof. Dr.-Ing., 14169 Berlin, DE;  
Pastoor, Siegmund, Dr.-Ing., 10823 Berlin, DE

64 Autostereoskopisches Bildwiedergabegerät

67 Autostereoskopisches Bildwiedergabegerät (5) mit einem ersten Projektor (4.1) zur Projektion eines für das linke Auge ( $A_L$ ) eines Betrachters bestimmten Bildes und einem zweiten Projektor (4.2) zur Projektion eines für das rechte Auge ( $A_R$ ) des Betrachters bestimmten Bildes, einer im Strahlengang der Projektoren (4.1, 4.2) angeordneten Abbildungsoptik (FL) zur Bündelung des vom ersten Projektor (4.1) ausgehenden Lichts im linken Auge ( $A_L$ ) und des vom zweiten Projektor (4.2) ausgehenden Lichts im rechten Auge ( $A_R$ ), einer Detektionseinheit (12) zur Bestimmung der Blickrichtung ( $n_1, n_2$ ) und der Position ( $P_1, P_2$ ) der Augen ( $A_L, A_R$ ), einer mit der Detektionseinheit (12) verbundenen ersten Recheneinheit (1) zur Berechnung der Konvergenzentfernung (KE) aus der Blickrichtung ( $n_1, n_2$ ) und der Position ( $P_1, P_2$ ) der Augen ( $A_L, A_R$ ), einer mit der ersten Recheneinheit (1) verbundenen Fokussierungsvorrichtung (14) zur Fokussierung der Bilder in der Konvergenzentfernung (KE) sowie mit Mitteln zur Simulation einer Tiefenunschärfe, um den störenden Eindruck von Doppelbildern abzuschwächen.



DE 195 37 499 A 1

Die Erfindung betrifft ein autostereoskopisches Bildwiedergabegerät gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus PASTOOR, S.: 3D-Techniken für Fernsehen und Bildkommunikation, Abschlußbericht des Vorhabens 01BK101, Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin GmbH ist ein autostereoskopisches Bildwiedergabegerät bekannt, das die Darstellung von Bewegtbildern mit einer räumlichen Bildwirkung ohne zusätzliche Hilfsmittel, wie beispielsweise Polarisationsbrillen, ermöglicht.

Voraussetzung für die Erzielung einer räumlichen Bildwirkung ist, daß den beiden Augen des Betrachters unterschiedliche Bilder getrennt zugeführt werden, die dann im Gehirn des Betrachters zu einem einheitlichen Bild mit räumlicher Bildwirkung verschmolzen werden. Die für das linke Auge bzw. rechte Auge bestimmten Bilder können beispielsweise von zwei Kameras stammen, die eine räumliche Szene aus zwei unterschiedlichen, nebeneinander angeordneten Kamerastandorten zeigen.

Das vorbekannte Bildwiedergabegerät weist deshalb zwei nebeneinander angeordnete Projektoren auf, von denen der eine ein für das linke Auge des Betrachters bestimmtes Bild liefert und der andere entsprechend ein für das rechte Auge des Betrachters bestimmtes Bild.

Im Strahlengang dieser beiden Projektoren ist eine Fresnel-Linse angeordnet, die als Feldlinse wirkt und das von jedem Projektor ausgehende Licht auf der Betrachterseite in einer bestimmten Distanz von der Fresnel-Linse bündelt. Die Fresnel-Linse bildet also die Austrittspupillen der beiden Projektoren in den Betrachtterraum ab. Da die beiden Projektoren nebeneinander angeordnet sind, liegen auch die optischen Bilder der Austrittspupillen im Betrachtterraum nebeneinander. Richtet der Betrachter nun seinen Standort im Betrachtterraum so ein, daß die Austrittspupille des einen Projektors in das linke Auge abgebildet wird und entsprechend die Austrittspupille des anderen Projektors in das rechte Auge, so nimmt der Betrachter mit jedem Auge jeweils nur die für dieses Auge bestimmten Bilder wahr und erhält somit einen räumlichen Bildeindruck.

Bei einem derartigen stereoskopischen Bildwiedergabegerät besteht das Problem der Entkopplung von Akkommodation und Konvergenzverhalten der Augen.

Unter Akkommodation versteht man die Scharfeinstellung der einzelnen Augen auf eine bestimmte Sehentfernung, auch als Akkommodationsentfernung bezeichnet. Die Akkommodation ist notwendig wegen der begrenzten Tiefenschärfe der menschlichen Augen. Darüberhinaus ermöglicht die Akkommodation dem Gehirn die Schätzung der Sehentfernung.

Als Konvergenzverhalten bezeichnet man hingegen das Bestreben des menschlichen visuellen Systems, die Blicklinien der beiden Augen auf den betrachteten Punkt auszurichten. Hierdurch wird erreicht, daß der betrachtete Punkt — im folgenden als Fixationspunkt bezeichnet — auf den Netzhautbereich mit der höchsten Auflösung abgebildet wird. Darüberhinaus kann das Gehirn aus dem Konvergenzwinkel — also dem Winkel zwischen den Blicklinien der beiden Augen — die Sehentfernung schätzen.

Das Gehirn erhält also Informationen über die Sehentfernung zum einen aus der Akkommodation und zum anderen aus dem Konvergenzverhalten der Augen.

Beim Betrachten eines bestimmten Punktes einer rea-

len räumlichen Szene ist die Akkommodationsentfernung gleich der Konvergenzentfernung.

Das visuelle System ist auf den Gleichlauf von Akkommodations- und Konvergenzentfernung in besonderer Weise ausgerichtet. Es verändern sich nämlich Akkommodation und Konvergenzeinstellung der Augen bereits, wenn nur ein Akkommodationsreiz oder nur ein Konvergenzreiz verändert wird. Dies ist Ausdruck einer natürlichen Kopplung von Akkommodation und Konvergenzverhalten.

Bei einem stereoskopischen Bildwiedergabegerät werden die verschiedenen Punkte einer räumlichen Szene jedoch unabhängig von ihrer räumlichen Tiefe auf eine bestimmte Abbildungsebene — auch als Schärfenebene bezeichnet — im Betrachtterraum scharf abgebildet. Die Lage der Abbildungsebene ist dabei im wesentlichen durch die Abbildungsgeometrie — beispielsweise den Abstand zwischen Projektor und Fresnel-Linse — bestimmt. Die Akkommodationsentfernung ist also für alle betrachteten Punkte der Szene gleich der Entfernung zwischen dem Betrachter und der Abbildungsebene. Andererseits ist der Konvergenzwinkel der Augen und damit die Konvergenzentfernung bei einem derartigen stereoskopischen Bildwiedergabegerät abhängig von der räumlichen Tiefe des betrachteten Punktes. Da das Gehirn des Betrachters somit aus Akkommodation und Konvergenzverhalten der Augen widersprüchliche Informationen über die Sehentfernung erhält und die natürliche Kopplung von Akkommodation und Konvergenzverhalten aufgebrochen werden muß, können beim Betrachter Ermüdungserscheinungen, Sehstörungen oder gar Kopfschmerzen auftreten.

Das vorbekannte Bildwiedergabegerät ist deshalb in der Lage, die Abbildungsebene zu verschieben, um die Akkommodationsentfernung an die Konvergenzentfernung anzupassen und somit die vorstehend genannten Störungen zu vermeiden.

Hierzu weist das vorbekannte Bildwiedergabegerät eine Detektionseinheit auf, die die Position und die Blickrichtung der beiden Augen des Betrachters ermittelt. Daraus wird dann der Fixationspunkt berechnet, also der Schnittpunkt der Blicklinien der beiden Augen, sowie die Konvergenzentfernung, also der Abstand zwischen dem Fixationspunkt und dem Betrachter.

Anschließend wird dann die Abbildungsebene so verschoben, daß Akkommodationsentfernung und Konvergenzentfernung gleich sind. Wie bereits zuvor erläutert, ist die räumliche Lage der Abbildungsebene abhängig von der Abbildungsgeometrie. Das vorbekannte Bildwiedergabegerät weist deshalb eine motorbetriebene Fokussierungsvorrichtung zur Fokussierung der Projektoren auf, die in Abhängigkeit von der gemessenen Konvergenzentfernung so angesteuert wird, daß — unter Berücksichtigung der Wirkung der Fresnel-Linse — Konvergenzentfernung und Akkommodationsentfernung übereinstimmen.

Dies ermöglicht vorteilhaft die Darstellung stereoskopischer Bilder unter Beibehaltung des Gleichlaufs von Akkommodations- und Konvergenzentfernung, wodurch die natürliche Kopplung von Akkommodation und Konvergenzverhalten unterstützt wird.

Das vorbekannte Bildwiedergabegerät hat jedoch einen Nachteil.

Die Raumwirkung eines stereoskopischen Bildes rührt — wie bereits eingangs erläutert — daher, daß die für die beiden Augen bestimmten Bilder dieselbe Szene aus zwei verschiedenen Kamerastandorten zeigen, die in der Regel um den Augenabstand gegeneinander ver-

setzt sind. Fixiert der Betrachter nun einen Punkt der abgebildeten räumlichen Szene, so wird dieser Punkt auf der Netzhaut des linken Auges an derselben Stelle abgebildet wie auf der Netzhaut des rechten Auges.

Alle Punkte in abweichender Tiefe zum Fixationspunkt erscheinen im linken und rechten Auge an unterschiedlichen Stellen der Netzhaut. Der Abstand zwischen dem Bild eines Punktes auf der Netzhaut des linken Auges und dem entsprechenden Bild dieses Punktes auf der Netzhaut des rechten Auges wird auch als retinale Disparität bezeichnet und ermöglicht dem Gehirn eine Tiefenwahrnehmung.

Bleibt die retinale Disparität unterhalb eines bestimmten Grenzwerts — auch als Fusionsgrenze bezeichnet —, so werden die disparaten Punktbilder vom visuellen System zu einem einheitlichen Bild verschmolzen. Überschreitet die retinale Disparität dagegen die Fusionsgrenze, findet keine Verschmelzung mehr statt und der Betrachter sieht ein störendes Doppelbild.

Bei der Betrachtung einer realen räumlichen Szene können durchaus retinale Disparitäten auftreten, die die Fusionsgrenze überschreiten. Dies stört jedoch nicht, da die zugehörigen Punkte so weit vom Fixationspunkt entfernt liegen, daß sie aufgrund der Akkommodation der Augen auf den Fixationspunkt außerhalb der Tiefenschärfe der Augen liegen und somit unscharf erscheinen.

Bei dem vorbekannten Bildwiedergabegerät werden jedoch alle Punkte einer räumlichen Szene — wie bereits zuvor erläutert — unabhängig von ihrer räumlichen Tiefe auf eine gemeinsame, im Betrachtarraum liegende Abbildungsebene abgebildet. Da die Augen auf diese Abbildungsebene akkommodieren, liegen also die Bilder sämtlicher Punkte der Szene unabhängig von ihrer räumlichen Tiefe im Bereich der Tiefenschärfe des Auges und werden somit vom Betrachter scharf gesehen.

Dies führt dazu, daß bei der Fixierung des Betrachters auf einen Punkt der abgebildeten räumlichen Szene Punkte in anderer Entfernung als störende, scharfe Doppelbilder erscheinen.

Der Erfindung liegt also die Aufgabe zugrunde, ein Bildwiedergabegerät der eingangs genannten Art zu schaffen, bei dem eine Störung des Bildeindrucks durch scharfe Doppelbilder vermieden wird.

Die Erfindung schließt die technische Lehre ein, bei einem Bildwiedergabegerät der eingangs genannten Art eine Tiefenunschärfe zu simulieren, indem in den für das linke bzw. rechte Auge bestimmten Bildern die Bildschärfe für solche Objekte verringert wird, die in einer anderen räumlichen Tiefe liegen als der Fixationspunkt.

Das erfindungsgemäße autostereoskopische Bildwiedergabegerät weist zwei Projektoren auf, von denen der eine ein für das linke Auge bestimmtes Bild und der andere ein für das rechte Auge bestimmtes Bild projiziert. Das Bildwiedergabegerät kann hierbei wahlweise Einzelbilder oder Bildfolgen projizieren.

Die beiden Projektoren verfügen jeweils über eine Projektorlinse oder ein Linsensystem, das das Lichtventil des jeweiligen Projektors in einer sogenannten 1. Schärfenebene scharf abbildet.

Weiterhin verfügt das erfindungsgemäße Bildwiedergabegerät über einen Eingang zur Aufnahme eines räumlichen Szenenmodells, das die räumliche Szene repräsentierenden Bilddatensatzes, der für eine Vielzahl von Punkten der Szene deren Raumkoordinatenwerte sowie Bildinformationswerte enthält. Der Bilddatensatz stellt also ein 3-dimensionales Szenenmodell der räumlichen Szene dar.

So kann beispielsweise eine räumliche Szene in äquidistante, in Form eines Gitters angeordnete Punkte aufgeteilt werden, wobei für jeden Punkt der Szene ein Luminanz-, Chrominanz- und/oder Transparenzwert bestimmt wird.

Der Bilddatensatz kann beispielsweise mittels eines Bildanalyserechners aus zwei 2-dimensionalen Bildern berechnet werden, die dieselbe räumliche Szene aus zwei gegeneinander versetzten Kamerastandorten darstellen und deshalb die Rekonstruktion der Tiefeninformation ermöglichen.

Die beiden Bilder werden vorzugsweise von zwei Kameras aufgenommen, die nebeneinander, vorzugsweise im Augenabstand angeordnet sind. Die beiden Kameras nehmen dann dieselbe räumliche Szene aus unterschiedlichen Standorten auf, was der natürlichen Betrachtungsweise des menschlichen visuellen Systems entspricht und eine räumliche Bildwirkung ermöglicht.

Da die darzustellende räumliche Szene als 3-dimensionales Szenenmodell vorliegt, kann bei der Darstellung der räumlichen Szene als stereoskopisches Bild die Perspektive in gewissen Grenzen frei gewählt werden.

Das erfindungsgemäße Bildwiedergabegerät weist deshalb eine Bildverarbeitungseinheit auf, die die für das linke bzw. rechte Auge bestimmten Bilder entsprechend der gewünschten Perspektive perspektivisch korrekt aus dem 3-dimensionalen Szenenmodell berechnet.

Bei der Erzeugung des Szenenmodells aus den Bildern zweier nebeneinander angeordneter Kameras besteht das Problem, daß in der Regel nicht alle Punkte der räumlichen Szene aus dem Kamerastandort sichtbar sind. Oftmals werden einzelne Objekte der Szene von anderen Objekten verdeckt und sind deshalb nicht sichtbar. Demzufolge erscheinen diese bei der Aufnahme nicht sichtbaren Objekte auch nicht in dem Szenenmodell. Bei der Wiedergabe des 3-dimensionalen Szenenmodells aus Perspektiven, die von der bei der Aufnahme des Szenenmodells gewählten Perspektive abweichen, können deshalb Objekte nicht dargestellt werden, die bei der Aufnahme verdeckt waren. Die Perspektive, aus der das Szenenmodell dargestellt werden soll, ist deshalb nur in relativ engen Grenzen wählbar.

Es ist deshalb vorteilhaft, das Szenenmodell aus den Aufnahmen von mehr als zwei Kameras zu berechnen, die die räumliche Szene aus unterschiedlichen Standorten aufnehmen. Auf diese Weise können beispielsweise Objekte, die in der Perspektive der ersten Kamera verdeckt sind, aus den Bildern einer anderen Kamera berechnet werden. Die Perspektive bei der Darstellung des stereoskopischen Bildes der räumlichen Szene kann dann vorteilhaft in relativ weiten Grenzen frei gewählt werden.

Vor den beiden Projektoren ist in deren Strahlengang eine Abbildungsoptik angeordnet, um die von den Projektoren erzeugten Bilder den beiden Augen eines Betrachters getrennt zuzuführen. Diese Abbildungsoptik ist nicht zu verwechseln mit den Projektorlinsen der einzelnen Projektoren. Während die Projektorlinsen bzw. die Linsensysteme der einzelnen Projektoren jeweils nur vom Licht eines Projektors durchstrahlt werden, wird die Abbildungsoptik vom Licht beider Projektoren erreicht.

Die beiden Projektoren erzeugen in einer sogenannten 1. Schärfenebene ein Bild des jeweiligen Lichtventils. Die Abbildungsoptik bildet nun die in der 1. Schärfenebene liegenden Bilder der Lichtventile in einer 2. Schärfenebene scharf ab. Auf diese 2. Schärfenebene muß der Betrachter dann akkommodieren, so daß der

Abstand zwischen der 2. Schärfenebene und dem Betrachter gleich der Akkommodationsentfernung ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Abbildungsoptik eine vorzugsweise als Fresnel-Linse ausgeführte Feldlinse auf. Betrachtterraum und Projektoren liegen hierbei auf unterschiedlichen Seiten der Feldlinse, die die Austrittspupillen der beiden Projektoren in den Betrachtterraum abbildet.

In einer anderen Ausführungsform der Erfindung weist die Abbildungsoptik einen Konkavspiegel auf, der — wie die Feldlinse — die Austrittspupillen der beiden Projektoren in den Betrachtterraum abbildet. Im Gegensatz zu der Ausführungsform mit einer Feldlinse liegen hierbei Projektoren und Betrachtterraum auf der gleichen Seite des Konkavspiegels.

Weiterhin verfügt das erfindungsgemäße Bildwiedergabegerät über eine Detektionseinheit zur Bestimmung der Blickrichtung und/oder der Position der beiden Augen des Betrachters. Derartige Geräte sind im Handel frei erhältlich und arbeiten beispielsweise durch Abtastung des Betrachterraums mit Infrarotstrahlen.

Der Detektionseinheit ist eine erste Recheneinheit nachgeschaltet, die aus der Blickrichtung und der Position der beiden Augen des Betrachters die Konvergenzentfernung berechnet, also den Abstand zwischen dem Betrachter und dem Konvergenzpunkt, in dem sich die Blicklinien der beiden Augen schneiden.

Die Position des Fixationspunkts hängt dabei von der räumlichen Tiefe des fixierten Details des stereoskopischen Bildes ab.

Fixiert der Betrachter beispielsweise ein Detail des stereoskopischen Bildes, das in der dargestellten räumlichen Szene relativ weit hinten liegt, so ist der Abstand zwischen dem Fixationspunkt und dem Betrachter relativ groß. Wird dagegen ein in der räumlichen Szene relativ weit vorne liegendes Detail fixiert, so liegt auch der Fixationspunkt relativ nah am Betrachter.

Wegen der natürlichen Kopplung von Akkommodation und Konvergenz des menschlichen visuellen Systems ist es — wie bereits eingangs erläutert — wünschenswert, daß das von den beiden Projektoren erzeugte stereoskopische Bild in einer durch den Fixationspunkt verlaufenden Abbildungsebene erzeugt wird. In diesem Fall ist die Entfernung zwischen dem Betrachter und dem Fixationspunkt gleich der Entfernung zwischen dem stereoskopischen Bild und dem Betrachter, so daß Akkommodationsentfernung und Konvergenzentfernung übereinstimmen.

In diesem Zusammenhang ist zu bemerken, daß die beiden Augen des Betrachters wegen ihres seitlichen Abstands eine unterschiedliche Entfernung zum Fixationspunkt aufweisen können, so daß auch die Akkommodationsentfernung der beiden Augen unterschiedlich ist. Bei der Bestimmung der Akkommodationsentfernung des Betrachters wird deshalb vorzugsweise die Akkommodationsentfernung der beiden Augen gemittelt. Dies entspricht der Akkommodationsentfernung eines fiktiven, zwischen den beiden Augen des Betrachters gelegenen "Zyklopanauges".

Zur Erreichung des gewünschten Gleichlaufs von Akkommodations- und Konvergenzentfernung weist das erfindungsgemäße Bildwiedergabegerät deshalb eine mit der ersten Recheneinheit verbundene Fokussierungsvorrichtung auf, die die Bilder der beiden Projektoren in einer durch den Fixationspunkt verlaufenden Abbildungsebene scharfstellt. Alle Punkte der räumlichen Szene werden unabhängig von ihrer räumlichen Tiefe auf diese Abbildungsebene scharf abgebildet. Die

Fokussierungsvorrichtung verschiebt also die 2. Schärfenebene so, daß der Fixationspunkt in der 2. Schärfenebene liegt und somit Akkommodationsentfernung und Konvergenzentfernung übereinstimmen.

Fixiert der Betrachter ein anderes Detail der dargestellten räumlichen Szene, so ändert sich auch die Blickrichtung der beiden Augen, was von der Detektionseinheit erkannt wird. Die erste Recheneinheit berechnet dann die neue Konvergenzentfernung und steuert die Fokussierungsvorrichtung entsprechend an, um das stereoskopische Bild im neuen Fixationspunkt scharfzustellen.

Hierzu sind gemäß der Erfindung drei Möglichkeiten vorgesehen, die allein oder in Kombination genutzt werden können, um zunächst die Lage der 1. Schärfenebene und als Folge die Lage der 2. Schärfeneben zu verändern.

In einer Ausführungsform wird zur Verschiebung der 2. Schärfenebene der Projektor als Ganzes parallel zu seiner optischen Achse verschoben. Die räumliche Lage der Projektorlinse relativ zum Lichtventil bleibt also unverändert.

In einer anderen Ausführungsform der Erfindung wird die räumliche Lage des Lichtventils relativ zur Projektorlinse verändert, indem das Lichtventil achsparallel relativ zur Projektorlinse verschoben wird.

Eine weitere Ausführungsform sieht schließlich vor, die Abbildungsoptik relativ zum Projektor und zum Betrachter zu verschieben.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, daß bei einer Verschiebung der 2. Schärfenebene zur Anpassung von Akkommodationsentfernung und Konvergenzentfernung das von den Projektoren erzeugte Bild entsprechend maßstäblich vergrößert bzw. verkleinert werden muß, damit die Größe des Luftbildes in der 2. Schärfenebene gemessen am Sehwinkel unverändert bleibt.

Durch die Anpassung der Akkommodationsentfernung an die aus den Augenstellungen ermittelte Konvergenzentfernung erhält das Gehirn des Betrachters aus Akkommodation und Konvergenzverhalten übereinstimmende Informationen über die Sehentfernung und die natürliche Kopplung von Akkommodation und Konvergenzverhalten kann sich widerspruchsfrei entfalten. Hierdurch werden vorteilhaft Irritationen wie beispielsweise Kopfschmerzen oder visuelle Ermüdungserscheinungen vermieden.

Der Betrachter sieht jedoch nicht nur das fixierte Detail scharf, sondern auch andere Details. Wenn diese Details in der dargestellten Szene in einer anderen räumlichen Tiefe liegen, so nimmt der Betrachter ein störendes, scharf erscheinendes Doppelbild wahr.

Es ist deshalb wünschenswert, solche Details unscharf erscheinen zu lassen, die in einer anderen räumlichen Tiefe liegen als der Fixationspunkt, damit der störende Eindruck der Doppelbilder abgeschwächt wird.

Dies entspricht der natürlichen Wahrnehmung einer realen räumlichen Szene. Hierbei erscheint nur der Fixationspunkt sowie der Bereich ähnlicher räumlicher Tiefe scharf, während Details in anderer räumlicher Tiefe aufgrund der begrenzten Tiefenschärfe des Auges unscharf wahrgenommen werden.

Das erfindungsgemäße Bildwiedergabegerät simuliert deshalb eine Tiefenunschärfe.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, daß die gewünschte Unschärfe abhängig ist von dem Tiefenabstand zwischen dem jeweiligen Punkt und dem Fixationspunkt. Dieser Tiefenabstand ist gleich der Differenz zwischen dem Abstand zwischen Betrachter und

Fixationspunkt — der Konvergenzentfernung — und dem Abstand des Punktes zum Betrachter.

Das erfindungsgemäße Bildwiedergabegerät weist deshalb eine zweite Recheneinheit auf, die für die durch den Bilddatensatz repräsentierten Punkte des 3-dimensionalen Szenemodells die Entfernung des jeweiligen Punktes zum Betrachter berechnet. Als Eingangssignale erhält die zweite Recheneinheit hierzu die von der Detektionseinheit bestimmte Position der Augen sowie die Raumkoordinatenwerte des jeweiligen Punktes.

Darüberhinaus ist eine dritte Recheneinheit vorgesehen, die für jeden durch den Bilddatensatz repräsentierten Punkt des 3-dimensionalen Szenemodells aus den Ausgangssignalen der zweiten und dritten Recheneinheit einen Bildschärfewert berechnet. Hierzu berechnet die dritte Recheneinheit für jeden Punkt des Bilddatensatzes zunächst die Differenz zwischen dem Abstand zum Betrachter und der Konvergenzentfernung. Der Bildschärfewert eines Punktes hängt also von dem Tiefenabstand dieses Punktes zum Fixationspunkt in der Blickrichtung des "Zyklopenauges" ab. Liegt der Punkt in der Nähe des Fixationspunktes, so wird diesem Punkt ein großer Bildschärfewert zugeordnet. Liegt der Punkt dagegen in einer anderen räumlichen Tiefe als der Fixationspunkt, so wird dem Punkt ein geringer Bildschärfewert zugeordnet.

Der Bilddatensatz sowie die Bildschärfewerte der einzelnen Punkte werden dann der Bildverarbeitungseinheit zugeführt, die aus dem Bilddatensatz die für das linke bzw. das rechte Auge des Betrachters bestimmten 2-dimensionalen Bilder berechnet und dabei für jeden Punkt des Bilddatensatzes die Bildschärfe entsprechend dem jeweiligen Bildschärfewert herabsetzt.

Bei einem herkömmlichen autostereoskopischen Bildwiedergabegerät können die für das linke bzw. rechte Auge bestimmten Bilder von zwei Kameras aufgenommen werden, die eine räumliche Szene aus zwei gegeneinander versetzten Kamerastandorten zeigen. Die beiden Kameras bilden die räumliche Szene dabei entsprechend einer durch die Kamerageometrie und -anordnung bestimmten Abbildungsvorschrift ab.

Da die räumliche Szene hier nicht real, sondern als Bilddatensatz vorliegt, müssen die für das linke bzw. rechte Auge bestimmten Bilder von der Bildverarbeitungseinheit entsprechend einer Abbildungsvorschrift berechnet werden. Diese Abbildungsvorschrift muß so gewählt werden, daß bei der Betrachtung des stereoskopischen Bildpaares einer gegebenen Szene und bei der direkten Betrachtung derselben Szene bestimmte Übereinstimmungen in den Seheindrücken entstehen. Diese Übereinstimmungen müssen für jedes einzelne Auge erfüllt sein. Sie betreffen die Geometrie aller sichtbaren Objekte und die tiefenabhängige Unschärfe der retinalen Abbilder der Szenenpunkte, wobei die Tiefe eines Szenenpunktes dessen Abstand zum Fixationspunkt in der Blickrichtung des "Zyklopenauges" ist.

Die Veränderung der Bildschärfe kann wahlweise vor der Berechnung der für das linke bzw. rechte Auge bestimmten Bilder durch Änderung der Bildinformationswerte des Bilddatensatzes erfolgen oder bei der Berechnung des für das linke bzw. rechte Auge bestimmten Bildes durch Änderung der Abbildungsvorschrift.

In einer Variante der Erfindung von eigener schutzwürdiger Bedeutung setzt die Bildverarbeitungseinheit vor der Erzeugung der für das linke bzw. rechte Auge bestimmten Bilder die Bildschärfe für alle Punkte des Bilddatensatzes entsprechend dem jeweiligen Bildschärfewert herab. Dies kann beispielsweise mittels ei-

nes Ortsfrequenztieffpaßfilters geschehen, das die Ortsfrequenzen des Bilddatensatzes einer Tieffpaßfilterung unterzieht. Hierdurch werden hohe Ortsfrequenzen abgeschwächt. Das Bild wirkt auf den Betrachter dann unschärfer. Die Ortsgrenzfrequenz hängt dabei von dem Bildschärfewert ab. In der Nähe des Fixationspunktes wird die Grenzfrequenz zweckmäßig so hoch gewählt, so daß die Schärfe in der Nähe des Fixationspunktes nicht verringert wird. Mit zunehmendem Abstand zum Fixationspunkt wird dann die Grenzfrequenz verringert, so daß Punkte in anderen Tiefenbereichen verschwommen erscheinen. Dies ist wünschenswert, da die Doppelbilder, die von Objekten in anderer räumlicher Tiefe herrühren, dann weniger scharf abgebildet werden und somit auch weniger störend in Erscheinung treten.

In einer anderen Variante der Erfindung von eigener schutzwürdiger Bedeutung wird die Bildschärfe bei der Berechnung der für das linke bzw. rechte Auge bestimmten Bilder aus dem Bilddatensatz verringert. Die Berechnung der für das linke bzw. rechte Auge des Betrachters bestimmten Bilder erfolgt in der Bildverarbeitungseinheit unter Beachtung der oben genannten Abbildungsvorschrift. Zur Erzeugung der tiefenabhängigen Unschärfe wird in dieser Variante bei der Abbildung des 3-dimensionalen Szenemodells in die jeweilige Bildebene für jeden Punkt des Szenemodells eine dem oben genannten Bildschärfewert entsprechende 2-dimensionale Bildpunktverbreiterungsfunktion berücksichtigt. Hierzu weist die Bildverarbeitungseinheit eine vierte Recheneinheit auf, die den Bilddatensatz gemäß dem jeweiligen Bildschärfewert mit einer Bildpunktverbreiterungsfunktion verknüpft.

Bei dem vorstehend beschriebenen stereoskopischen Bildwiedergabegerät erhält der Betrachter nur in einer bestimmten Position im Betrachtarraum einen räumlichen Bildeindruck. In dieser Position bildet die Abbildungsoptik — Feldlinse oder Konkavspiegel — die Austrittspupille des einen Projektors in das linke Auge und die Austrittspupille des anderen Projektors in das rechte Auge des Betrachters ab. Entfernt sich der Betrachter aus dieser Position, so geht der räumliche Bildeindruck verloren, so daß die Bewegungsfreiheit des Betrachters relativ eingeschränkt ist.

In einer vorteilhaften weiterbildenden Variante der Erfindung von eigener schutzwürdiger Bedeutung ist deshalb eine Nachführvorrichtung vorgesehen, die mit der Detektionseinheit verbunden ist und bei einer Bewegung des Betrachters die Projektoren oder den Strahlengang der Projektoren der Bewegung des Betrachters nachführt.

Vorzugsweise sind die Projektoren in allen drei Raumrichtungen verschiebbar, um auch eine Bewegungsfreiheit des Betrachters in allen drei translatorischen Freiheitsgraden zu ermöglichen.

In einer bevorzugten Ausführungsform dieser Variante weist die Nachführeinheit einen Positionierschlitten auf, auf dem die beiden Projektoren verschiebbar und/oder drehbar angeordnet sind. Bei einer Bewegung des Betrachters werden die Projektoren dann auf dem Positionierschlitten so verschoben, daß die Pupillen-Bilder der beiden Projektoren jeweils nur ein Auge des Betrachters erreichen, was Voraussetzung für einen räumlichen Bildeindruck ist.

In einer anderen Ausführungsform ist im Strahlengang der beiden Projektoren ein Spiegel angeordnet, der bei einer Bewegung des Betrachters verschoben und/oder gedreht wird, so daß — wie bei der Verschie-



bung der Projektoren — die für das linke bzw. rechte Auge bestimmten Bilder den beiden Augen des Betrachters getrennt zugeführt werden.

In diesen Varianten der Erfindung hat der Betrachter zwar eine weitgehende Bewegungsfreiheit unter Aufrechterhaltung der räumlichen Bildwirkung, jedoch ist die Perspektive, aus der der Betrachter die räumliche Szene sieht, stets die gleiche. Dies widerspricht der normalen Erfahrung, nach der eine Positionsänderung stets auch eine Änderung der Perspektive bewirkt.

In einer weiterbildenden Ausführungsform dieser Variante von eigener schutzwürdiger Bedeutung ist deshalb vorgesehen, bei einer Bewegung des Betrachters nicht nur die Projektoren der Bewegung des Betrachters nachzuführen, sondern auch die Perspektive entsprechend der Betrachterposition anzupassen.

Die Perspektiven der für das linke und rechte Auge bestimmten Bilder ergeben sich eindeutig aus der Position des Betrachters. Diese beiden Bilder werden zuvor von der Bildverarbeitungseinheit aus dem 3-dimensionalen Szenenmodell berechnet. Hierzu berechnet die Bildverarbeitungseinheit — wie bereits zuvor erläutert — eine optische Abbildung des 3-dimensionalen Szenenmodells auf das linke bzw. rechte Bild.

Die Bildverarbeitungseinheit ist deshalb in dieser Ausführungsform der Erfindung mit der Detektionseinheit verbunden und erhält somit eine Information über die Position der Augen des Betrachters. In Abhängigkeit von der Position des Betrachters bestimmt die Bildverarbeitungseinheit die richtige Perspektive für die rechnerische Abbildung des Szenenmodells auf das linke bzw. rechte Bild. Bewegt sich der Betrachter beispielsweise zur Seite, so wird das Szenenbild mehr von der Seite gezeigt. Auf diese Weise können alle Punkte des Szenenmodells, die bei dessen Erzeugung rekonstruiert wurden, aus jeder beliebigen, an die Position des Betrachters angepaßten Perspektive dargestellt werden.

Die vorstehend beschriebenen Varianten der Erfindung ermöglichen vorteilhaft die Darstellung eines stereoskopischen Bildes mit einer räumlichen Bildwirkung, wobei eine Normalsichtigkeit des Betrachters angenommen wird. Viele Menschen weisen jedoch eine Fehlsichtigkeit auf, die sich darin äußert, daß entweder Gegenstände in geringer Entfernung (Weitsichtigkeit) oder in großer Entfernung (Kurzsichtigkeit) nicht scharf gesehen werden können.

In einer vorteilhaften Variante der Erfindung von eigener schutzwürdiger Bedeutung ist deshalb vorgesehen, die Fehlsichtigkeit des Betrachters bei der Betrachtung des stereoskopischen Bildes durch das Bildwiedergabegerät auszugleichen.

Die Fokussierungsvorrichtung fokussiert die für das linke bzw. rechte Auge bestimmten Bilder deshalb nicht in der Konvergenzentfernung zum Betrachter, sondern entsprechend einem vorgegebenen, die Fehlsichtigkeit des Betrachters wiedergebenden Korrekturwert in einer anderen Entfernung. Die 2. Schärfenebene läuft in diesem Fall also nicht exakt durch den Fixationspunkt.

Der Betrachter kann dann beispielsweise an einem Schieberegler den Korrekturwert einstellen. Die Fokussierungsvorrichtung verschiebt dann automatisch die 2. Schärfenebene entsprechend der Fehlsichtigkeit des Betrachters.

Andere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet bzw. werden nachstehend zusammen mit der Beschreibung der bevorzugten Ausführung der Erfindung anhand der Figuren näher dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 als bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung ein autostereoskopisches Bildwiedergabegerät als Blockschaltbild,

Fig. 2 den Strahlengang zwischen dem Betrachter und einem Projektor des in Fig. 1 gezeigten Bildwiedergabegeräts detailliert mit Konstruktionslinien sowie

Fig. 3 den Strahlengang vor den beiden Projektoren des in Fig. 1 dargestellten Bildwiedergabegeräts ebenfalls detailliert mit Konstruktionslinien.

Das in Fig. 1 dargestellte Blockschaltbild zeigt ein erfindungsgemäßes autostereoskopisches Bildwiedergabegerät 5 zur Darstellung von Bildern mit einer räumlichen Bildwirkung ohne Hilfsmittel, wie beispielsweise Polarisationsbrillen.

Zur Erzeugung einer räumlichen Bildwirkung müssen den beiden Augen  $A_L$ ,  $A_R$  des Betrachters — wie bereits eingangs erläutert — unterschiedliche Bilder zugeführt werden, die die darzustellende räumliche Szene aus verschiedenen, vorzugsweise um den Augenabstand gegeneinander versetzten Kamerastandorten zeigen.

Dem eigentlichen Bildwiedergabegerät 5 sind deshalb zwei Kameras 6.1, 6.2 vorgeschaltet, die nebeneinander angeordnet sind und somit entsprechend der natürlichen Sehweise des Menschen ein für das linke Auge  $A_L$  und ein für das rechte Auge  $A_R$  des Betrachters bestimmtes Bild liefern. Diese beiden Bilder werden am Ausgang der beiden Kameras 6.1, 6.2 digital ausgegeben und in jeweils einen Zwischenspeicher 7.1, 7.2 geschrieben.

Aus diesen Zwischenspeichern 7.1, 7.2 liest eine Bildanalyseeinheit 8 die von den beiden Kameras 6.1, 6.2 aufgenommenen 2-dimensionalen Bilder aus und rekonstruiert daraus die Tiefeninformation der in den beiden Bildern dargestellten räumlichen Szene.

Hierzu sucht die Bildanalyseeinheit 8 zu jedem Bildpunkt des einen Bildes den korrespondierenden Bildpunkt in dem anderen Bild. Als korrespondierend bezeichnet man diejenigen Bildpunkte im linken bzw. rechten Bild, die dasselbe Detail der räumlichen Szene darstellen. Hierzu wendet die Bildanalyseeinheit Korrelationsverfahren an, die die Ähnlichkeit von Bildmustern in den beiden Bildern untersuchen. Soll beispielsweise zu einem bestimmten Punkt im linken Bild der korrespondierende Punkt im rechten Bild bestimmt werden, so selektiert die Bildanalyseeinheit zunächst im linken Bild einen Bildbereich, der den vorgegebenen Bildpunkt umgibt. Im rechten Bild wird dann der Bildbereich gesucht, der optimal mit dem selektierten Bildbereich des linken Bildes korreliert. Der korrespondierende Bildpunkt im rechten Bild liegt dann in der Mitte dieses Bildbereiches.

Aus dem Abstand zwischen korrespondierenden Punkten im linken und rechten Bild berechnet die Bildanalyseeinheit 8 dann die räumliche Tiefe der zugehörigen Details der räumlichen Szene. Auf diese Weise wird ein 3-dimensionales Szenenmodell berechnet, das für jeden bei der Aufnahme sichtbaren Punkt der räumlichen Szene die Raumkoordinatenwerte  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  sowie einen Luminanzwert  $L$  und einen Chrominanzwert  $c$  beinhaltet. Das digitalisierte Strukturbild wird dann in ein Speicherelement 9 des Bildwiedergabegerätes 5 geschrieben.

Weiterhin weist das Bildwiedergabegerät 5 eine Bildverarbeitungseinheit 10 auf, die aus dem 3-dimensionalen Szenenmodell jeweils ein 2-dimensionales Bild für das linke bzw. rechte Auge  $A_L$ ,  $A_R$  des Betrachters berechnet und in jeweils einem Zwischenspeicher 15.1, 15.2 zwischenspeichert.

Zur Wiedergabe des für das linke bzw. rechte Auge des Betrachters bestimmten Bildes weist das Bildwiedergabegerät 5 zwei Projektoren 4.1, 4.2 auf, die auf einem Positionierschlitten 11 verschiebbar angeordnet sind.

Die beiden Projektoren 4.1, 4.2 projizieren das für das linke Auge  $A_L$  bzw. rechte Auge  $A_R$  des Betrachters bestimmte Bild auf eine Fresnel-Linse FL, die die Austrittspupille des einen Projektors 4.1 in das linke Auge  $A_L$  des Betrachters abbildet und entsprechend die Austrittspupille des anderen Projektors 4.2 in das rechte Auge  $A_R$  des Betrachters. Der Betrachter nimmt deshalb mit jedem Auge  $A_L$ ,  $A_R$  jeweils nur das für dieses Auge bestimmte Bild wahr und kann somit einen räumlichen Bildeindruck erhalten.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, daß der Betrachter seinen Standort so wählt, daß die Austrittspupillen der beiden Projektoren 4.1, 4.2 jeweils in ein Auge abgebildet werden. Nur dann erhält der Betrachter einen räumlichen Bildeindruck. Entfernt sich der Betrachter bei unveränderter Einstellung des Bildwiedergabegeräts 5 von diesem Standort, so nimmt er die für das rechte Auge  $A_R$  bzw. linke Auge  $A_L$  bestimmten Bilder nicht mehr getrennt wahr und erhält somit auch keinen räumlichen Bildeindruck.

Das Bildwiedergabegerät 5 führt deshalb bei einer Bewegung des Betrachters die Bilder der Austrittspupillen dem Betrachter nach, so daß dieser unabhängig vom seinem Standort einen räumlichen Bildeindruck erhält.

Hierzu weist das Bildwiedergabegerät 5 eine Detektionseinheit 12 auf, die die Position  $P_1$ ,  $P_2$  der beiden Augen  $A_L$ ,  $A_R$  des Betrachters ermittelt und ein entsprechendes Signal an eine Nachführeinheit 13 weiterleitet. Diese Nachführeinheit 13 berechnet aus der Position  $P_1$ ,  $P_2$  der Augen  $A_L$ ,  $A_R$  des Betrachters die erforderliche Position der Projektoren 4.1, 4.2 und steuert den Positionierschlitten 11 entsprechend an, der eine Verschiebung der Projektoren 4.1, 4.2 in bis zu drei translatorischen Freiheitsgraden ermöglicht. Auf diese Weise befinden sich die beiden Projektoren 4.1, 4.2 stets in der Position relativ zur Fresnel-Linse FL, die erforderlich ist, um die Austrittspupillen der beiden Projektoren 4.1, 4.2 getrennt in jeweils ein Auge  $A_L$  bzw.  $A_R$  des Betrachters abzubilden.

Weiterhin gibt die Detektionseinheit 12 der Bildverarbeitungseinheit 10 eine Information  $P_1$ ,  $P_2$  über die Position des Betrachters. Die Bildverarbeitungseinheit 10 berechnet dann das für das linke bzw. rechte Auge bestimmte Bild in Abhängigkeit von der Position des Betrachters. Die Ansicht, die der Betrachter von der räumlichen Szene erhält, hängt also von der Position des Betrachters ab. Bewegt sich der Betrachter beispielsweise zur Seite, so ändert sich auch die Ansicht und der Betrachter sieht die räumliche Szene entsprechend mehr von der Seite.

Darüberhinaus ermittelt die Detektionseinheit 12 die Blickrichtungen  $n_1$ ,  $n_2$  der beiden Augen  $A_L$ ,  $A_R$  des Betrachters und gibt diese Information zusammen mit den Positionen  $P_1$ ,  $P_2$  der beiden Augen  $A_L$ ,  $A_R$  an eine erste Recheneinheit 1 weiter, die daraus die Konvergenzentfernung KE berechnet. Die Konvergenzentfernung KE ist — wie bereits zuvor erläutert — die Entfernung zwischen dem Betrachter und dem Schnittpunkt der Blicklinien der beiden Augen  $A_L$ ,  $A_R$  des Betrachters.

Das Gehirn des Betrachters erhält — wie bereits zuvor erläutert — Informationen über die Sehentfernung zum einen aus dem Konvergenzverhalten und zum anderen aus dem Akkommodationsverhalten der Augen

$A_L$ ,  $A_R$ . Damit diese Informationen übereinstimmen ist es wünschenswert, die Akkommodationsentfernung an die Konvergenzentfernung KE anzupassen. Diese Anpassung ist ebenfalls wünschenswert, um die natürliche Kopplung von Akkommodation und Konvergenzverhalten zu widerspruchsfreien Einstellungen zu führen.

Die Akkommodationsentfernung ist gleich dem Abstand zwischen dem Betrachter und den von dem Bildwiedergabegerät 5 erzeugten Luftbildern. Durch Fokussierung der Projektoren 4.1, 4.2 können diese Luftbilder in der räumlichen Tiefe verschoben werden.

Das Bildwiedergabegerät 5 weist deshalb eine Fokussierungsvorrichtung 14 auf, die mit der ersten Recheneinheit 1 verbunden ist und die Projektoren 4.1, 4.2 in Abhängigkeit von der gemessenen Konvergenzentfernung KE so fokussiert, daß die von den beiden Projektoren 4.1, 4.2 erzeugten Luftbilder in der Konvergenzentfernung KE zum Betrachter erscheinen. Akkommodationsentfernung und Konvergenzentfernung KE stimmen dann überein, was ein weitgehend ermüdungsarmes Betrachten des stereoskopischen Bildes ermöglicht.

Bei der Betrachtung des stereoskopischen Bildes tritt das Problem auf, daß alle Details der räumlichen Szene unabhängig von ihrer räumlichen Tiefe in einer Abbildungsebene, also in weitgehend einheitlicher Entfernung zum Betrachter dargestellt werden. Dies hat zur Folge, daß solche Details der Szene, die in einer von der Konvergenzentfernung KE wesentlich abweichenden räumlichen Tiefe liegen, als scharfe und deshalb störende Doppelbilder erscheinen.

Das Bildwiedergabegerät 5 verringert deshalb die Bildscharfe für solche Details der räumlichen Szene, die in einer wesentlich anderen räumlichen Tiefe liegen als der vom Betrachter fixierte Punkt.

Hierzu wird für jeden Punkt der räumlichen Szene zunächst mit einer zweiten Recheneinheit 2 der Abstand D dieses Punktes zum Betrachter berechnet. Hierzu wertet die zweite Recheneinheit 2 die von der Detektionseinheit 12 ermittelte Position  $P_1$ ,  $P_2$  der beiden Augen  $A_L$ ,  $A_R$  des Betrachters aus, sowie die in dem Speicherelement 9 abgelegten Raumkoordinatenwerte X, Y, Z der einzelnen Punkte des Szenenmodells.

Dieser Abstand D sowie die von der ersten Recheneinheit 1 ermittelte Konvergenzentfernung KE wird einer dritten Recheneinheit 3 zugeführt, die daraus einen Bildschärfewert S berechnet, der die gewünschte Bildscharfe des jeweiligen Bildpunktes bestimmt. Die Bildscharfe eines Punktes muß — wie bereits zuvor erläutert — von dem Tiefenabstand des Punktes zum Fixationspunktes abhängen. Dieser Tiefenabstand ist gleich der Differenz zwischen der Konvergenzentfernung KE und dem Abstand D des Punktes zum Betrachter. Die dritte Recheneinheit 3 berechnet deshalb für jeden Punkt zunächst den Absolutwert der Differenz zwischen dem Abstand D dieses Punktes zum Betrachter und der Konvergenzentfernung KE. Jedem Wert dieses Tiefenabstandes ordnet die dritte Recheneinheit 3 dann einen Bildschärfewert S zu, der die für diesen Bildpunkt gewünschte Bildscharfe bestimmt. Kleinen Werten des Tiefenabstandes wird dabei ein hoher Bildschärfewert S zugeordnet, während großen Werten des Tiefenabstandes entsprechend ein geringer Bildschärfewert S zugeordnet wird.

Der von der dritten Recheneinheit 3 ermittelte Bildschärfewert S wird dann der Bildverarbeitungseinheit 10 zugeführt, die bei der rechnerischen Abbildung des 3-dimensionalen Szenenmodells auf die 2-dimensionalen Bilder für das linke Auge  $A_L$  bzw. rechte Auge  $A_R$



die einzelnen Punkte des 3-dimensionalen Szenenmodells entsprechend dem Bildschärfewert S mehr oder weniger scharf abbildet.

Bei der Betrachtung des stereoskopischen Bildes erscheinen deshalb nur solche Details scharf, deren Entfernung zum Betrachter im wesentlichen gleich der Konvergenzentfernung KE ist. Details in einer wesentlich anderen Entfernung erscheinen hingegen unscharf. Dies ist vorteilhaft, da diese Details dem Betrachter bei scharfer Abbildung als Doppelbilder erscheinen würden, so daß die Unschärfe den störenden Eindruck der Doppelbilder abschwächt.

Dies entspricht der natürlichen Betrachtung einer realen räumlichen Szene. Hierbei erscheinen Details der Szene in einer vom Fixationspunkt wesentlich abweichenden räumlichen Tiefe aufgrund der begrenzten Tiefenschärfe des menschlichen Auges ebenfalls unscharf.

Fig. 2 verdeutlicht den Strahlengang vor den beiden Projektoren detailliert mit den Konstruktionslinien zur Konstruktion der optischen Bilder, wobei zur Wahrung der Übersichtlichkeit lediglich die von einem Projektor ausgehenden Strahlen dargestellt sind.

Auf der linken Seite ist die Projektorlinse PL mit den Brennpunkten  $-F_1$  und  $F_1$  sowie der Hauptebene H1 dargestellt. In der Bildmitte ist die Fresnel-Linse FL mit den Brennpunkten  $-F_2$  und  $F_2$  sowie der Hauptebene H2 zu sehen.

Die Austrittspupille AP des Projektors wird von der Fresnel-Linse FL in den Betrachtarraum abgebildet. Das Bild  $AP'$  der Austrittspupille AP liegt hierbei im Bereich des Auges A des Betrachters.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, daß nahezu die gesamte Fresnel-Linse FL für den Betrachter ausgeleuchtet erscheint. Der Betrachter sieht also bei der Betrachtung der Fresnel-Linse FL stets Licht aus dem Projektor, unabhängig davon, durch welchen Punkt der Fresnel-Linse FL die Blicklinie des Betrachters verläuft. Die Leuchtdichte in der jeweiligen Betrachtungsrichtung bestimmt dabei den Bildinhalt.

Weiterhin ist das Lichtventil LV des Projektors in der Position a dargestellt. Der Inhalt dieses Lichtventils LV wird zunächst von der Projektorlinse PL in der 1. Schärfenebene  $a'$  als Luftbild scharf abgebildet. Die Fresnel-Linse FL bildet dann das in der 1. Schärfenebene  $a'$  liegende Luftbild auf die 2. Schärfenebene  $a''$  ab. Auf diese Ebene akkommodiert der Betrachter.

So wird beispielsweise der Punkt P in der Ebene a des Lichtventils LV zunächst von der Projektorlinse PL auf den Punkt  $P'$  in der 1. Schärfenebene abgebildet. Anschließend bildet dann die Fresnel-Linse FL den Punkt  $P'$  auf den Punkt  $P''$  in der 2. Schärfenebene  $a''$  ab.

Die Akkommodationsentfernung ist also gleich dem Abstand der 2. Schärfenebene  $a''$  zum Betrachter. Die räumliche Lage der 2. Schärfenebene  $a''$  ist wiederum abhängig von der Abbildungsgeometrie, also den Abständen zwischen Lichtventil LV, Projektorlinse PL und Fresnel-Linse FL. Durch Verschiebung des Lichtventils LV, der Projektorlinse PL oder des kompletten Projektors kann deshalb die Akkommodationsentfernung auf nahezu jeden beliebigen Wert eingestellt werden, der größer ist als der Abstand des Brennpunkts  $F_2$  der Fresnel-Linse FL vom Betrachter.

Fig. 3 zeigt schließlich den Strahlenverlauf vor den beiden Projektoren des Bildwiedergabegeräts.

Auf der linken Seite sind die beiden Projektorlinsen dargestellt, die nebeneinander angeordnet sind und deshalb eine gemeinsame Hauptebene H1 aufweisen.

Vor den Projektorlinsen ist mittig zwischen den opti-

schen Achsen der beiden Projektorlinsen die Fresnel-Linse mit der Hauptebene H2 angeordnet, die die Austrittspupillen  $AP_L$  bzw.  $AP_R$  der beiden Projektorlinsen in den Betrachtarraum abbildet. Das Bild  $AP_L'$  der Austrittspupille  $AP_L$  liegt hierbei im Bereich des linken Auge  $A_L$  des Betrachters und das Bild  $AP_R'$  der Austrittspupille  $AP_R$  im Bereich des rechten Auge  $A_R$  des Betrachters. Die Fresnel-Linse bildet die Austrittspupillen der beiden Projektoren also getrennt auf jeweils ein Auge ab. Die von den beiden Projektoren erzeugten Bilder werden den beiden Augen  $A_L$ ,  $A_R$  also getrennt zugeführt, was eine räumliche Bildwirkung ermöglicht.

Weiterhin sind die Lichtventile  $LV_L$ ,  $LV_R$  der beiden Projektoren in der Ebene a dargestellt. Der Inhalt der Lichtventile  $LV_L$ ,  $LV_R$  wird zunächst von den Projektorlinsen in der 1. Schärfenebene  $a'$  als Luftbild scharf abgebildet. Dieses Luftbild wird dann von der Fresnel-Linse in die 2. Schärfenebene  $a''$  abgebildet, auf die der Betrachter akkommodiert. Die räumliche Lage der 2. Schärfenebene  $a''$  bestimmt also — wie bereits in der Beschreibung zu Fig. 2 erläutert — die Akkommodationsentfernung.

So wird beispielsweise der Punkt  $P_{1L}$  des linken Bildes in der Ebene a des Lichtventils  $LV_L$  zunächst von der Projektorlinse auf den Punkt  $P_{1L}'$  in der 1. Schärfenebene  $a'$  und anschließend von der Fresnel-Linse auf den Punkt  $P_{1L}''$  in der 2. Schärfenebene  $a''$  abgebildet. Entsprechend wird der korrespondierende Punkt  $P_{1R}$  des rechten Bildes zunächst von der Projektorlinse auf den Punkt  $P_{1R}'$  in der 1. Schärfenebene  $a'$  und anschließend von der Fresnel-Linse auf den Punkt  $P_{1R}''$  in der 2. Schärfenebene  $a''$  abgebildet. Die beiden korrespondierenden Punkte  $P_{1L}$  und  $P_{1R}$  werden also auf denselben Punkt  $P_{1L}'$  in der 1. Schärfenebene  $a'$  und demzufolge auch auf denselben Punkt  $P_{1L}''$  in der 2. Schärfenebene  $a''$  abgebildet, der somit der Fixationspunkt ist. Dies ist auch daran zu erkennen, daß sich die Blicklinien des Betrachters im Punkt  $P_{1L}''$  schneiden.

Weiterhin ist der Strahlengang für einen weiteren Punkt dargestellt, der in der räumlichen Szene in einer anderen räumlichen Tiefe liegt.

Der zu diesem Punkt gehörende Bildpunkt  $P_{2L}$  im linken Bild wird zunächst von der Projektorlinse auf den Punkt  $P_{2L}'$  in der 1. Schärfenebene  $a'$  und anschließend von der Fresnel-Linse auf den Punkt  $P_{2L}''$  in der 2. Schärfenebene  $a''$  abgebildet. Entsprechend wird der korrespondierende Punkt  $P_{2R}$  des rechten Bildes zunächst von der Projektorlinse auf den Punkt  $P_{2R}'$  in der 1. Schärfenebene  $a'$  und anschließend von der Fresnel-Linse auf den Punkt  $P_{2R}''$  in der 2. Schärfenebene  $a''$  abgebildet.

Die vom Betrachter wahrgenommenen Luftbilder  $P_{2L}''$  bzw.  $P_{2R}''$  dieses Punktes fallen also im Gegensatz zum Fixationspunkt in der 2. Schärfenebene  $a''$  nicht zusammen und erscheinen somit als Doppelbilder.

Das stört jedoch nicht, da das erfindungsgemäße Bildwiedergabegerät für diese Punkte wegen ihrer vom Fixationspunkt abweichenden räumlichen Tiefe die Bildschärfe herabsetzt, so daß die Doppelbilder unscharf erscheinen.

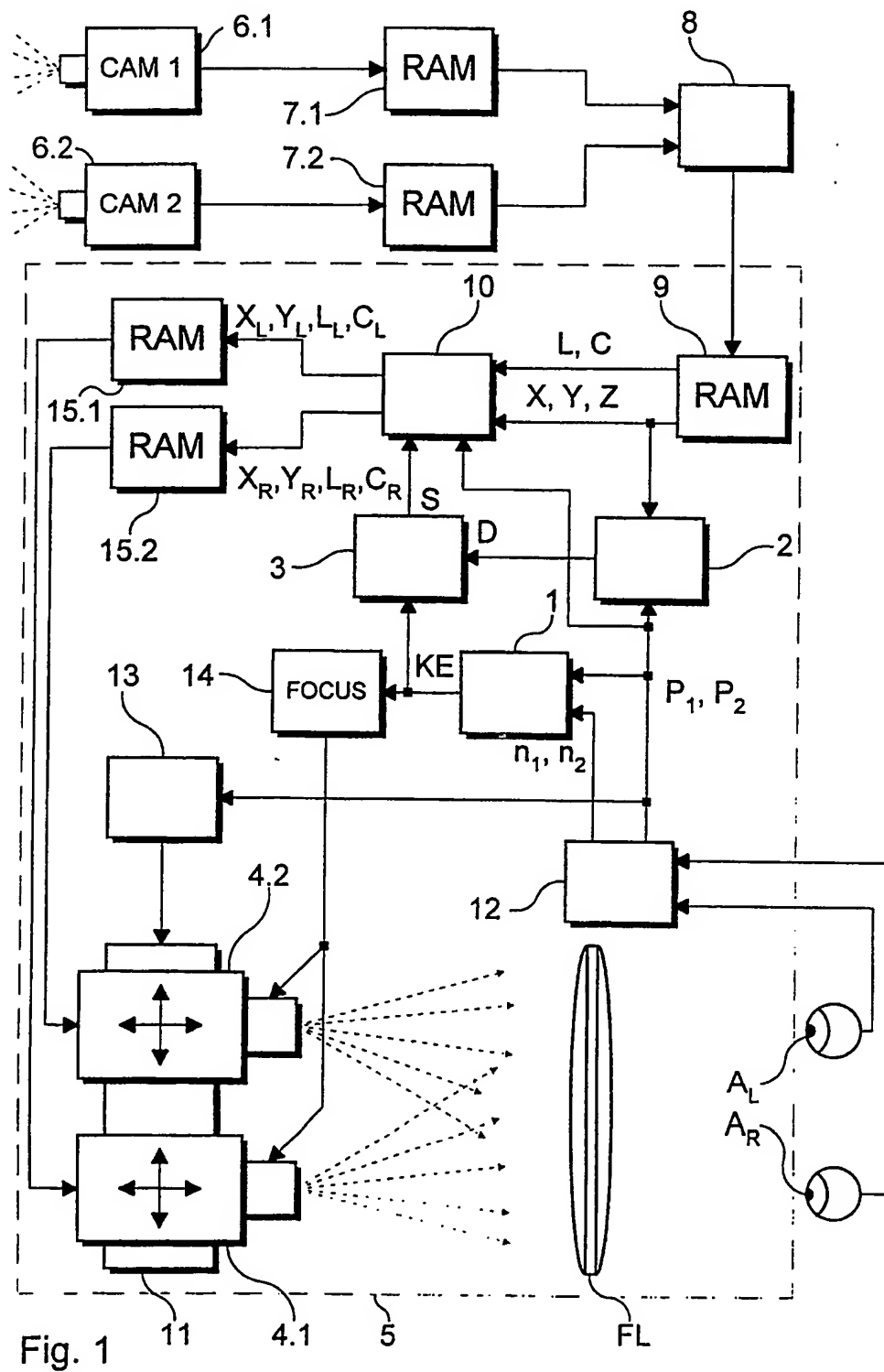
Die Erfindung beschränkt sich in ihrer Ausführung nicht auf die vorstehend angegebenen bevorzugten Ausführungsbeispiele. Vielmehr ist eine Anzahl von Varianten denkbar, welche von der dargestellten Lösung auch bei grundsätzlich anders gearteten Ausführungen Gebrauch macht.

1. Autostereoskopisches Bildwiedergabegerät (5) mit einem ersten Projektor (4.1) zur Projektion eines für das linke Auge ( $A_L$ ) eines Betrachters bestimmten Bildes und einem zweiten Projektor (4.2) zur Projektion eines für das rechte Auge ( $A_R$ ) des Betrachters bestimmten Bildes, einer im Strahlengang der beiden Projektoren (4.1, 4.2) angeordneten Abbildungsoptik (FL) zur Bündelung des vom ersten Projektor (4.1) ausgehenden Lichts im linken Auge ( $A_L$ ) und des vom zweiten Projektor (4.2) ausgehenden Lichts im rechten Auge ( $A_R$ ) des Betrachters, einer Detektionseinheit (12) zur Bestimmung der Blickrichtung ( $n_1, n_2$ ) und der Position der beiden Augen ( $A_L, A_R$ ) des Betrachters, einer mit der Detektionseinheit (12) verbundenen ersten Recheneinheit (1) zur Berechnung der Konvergenzentfernung (KE) aus der Blickrichtung ( $n_1, n_2$ ) und der Position ( $P_1, P_2$ ) der beiden Augen ( $A_L, A_R$ ), einer mit der ersten Recheneinheit (1) verbundenen Fokussierungsvorrichtung (14) zur Fokussierung der beiden Bilder im wesentlichen in der Konvergenzentfernung (KE) zum Betrachter, gekennzeichnet durch einen Eingang zur Aufnahme eines eine räumliche Szene repräsentierenden Bilddatensatzes, der für eine Vielzahl von Punkten der Szene deren Raumkoordinatenwerte ( $X, Y, Z$ ) sowie Bildinformationswerte ( $L, C$ ) enthält, eine zweite Recheneinheit (2) zur Berechnung eines den Abstand der einzelnen Punkte zum Betrachter wiedergebenden Abstandswerts ( $D$ ) aus den Raumkoordinatenwerten ( $X, Y, Z$ ) der Punkte und der von der Detektionseinheit (12) bestimmten Position ( $P_1, P_2$ ) der Augen ( $A_L, A_R$ ) des Betrachters, eine dritte Recheneinheit (3) zur Berechnung eines Bildschärfewerts ( $S$ ) für die Punkte des Bilddatensatzes aus der Differenz zwischen dem von der zweiten Recheneinheit (2) bestimmten Abstandswert ( $D$ ) und der von der ersten Recheneinheit (1) berechneten Konvergenzentfernung (KE), eine Bildverarbeitungseinheit (10) zur Berechnung des für das linke Auge ( $A_L$ ) bestimmten Bildes und des für das rechte Auge ( $A_R$ ) bestimmten Bildes entsprechend einer vorgegebenen Perspektive aus dem Bilddatensatz mit einer für die einzelnen Punkte entsprechend dem jeweiligen Bildschärfewert ( $S$ ) verringerten Bildschärfe.
2. Bildwiedergabegerät (5) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die dritte Recheneinheit (3) derart ausgebildet ist, daß der Bildschärfewert ( $S$ ) eine monoton fallende Funktion des Absolutwerts der Differenz zwischen dem Abstandswert ( $D$ ) und der Konvergenzentfernung (KE) ist.
3. Bildwiedergabegerät (5) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildungsoptik (FL) eine Feldlinse aufweist.
4. Bildwiedergabegerät (5) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Feldlinse als Fresnel-Linse ausgeführt ist.
5. Bildwiedergabegerät (5) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildungsoptik einen Konkavspiegel aufweist.
6. Bildwiedergabegerät (5) nach einem der vorher-

- gehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fokussierungsvorrichtung (14) einen Stellantrieb aufweist zur Verschiebung der Projektoren (4.1, 4.2) und/oder der Lichtventile ( $LV_L, LV_R$ ) der Projektoren und/oder der Abbildungsoptik (FL).
7. Bildwiedergabegerät (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Eingang ein mit der dritten Recheneinheit (3) verbundener Tiefpaßfilter nachgeschaltet ist zur Filterung der Ortsfrequenzen der Punkte des Bilddatensatzes mit einer von dem Bildschärfewert ( $S$ ) des jeweiligen Punktes abhängigen Ortsgrenzfrequenz zur Simulation einer Tiefenunschärfe in den berechneten Bildern.
8. Bildwiedergabegerät (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildverarbeitungseinheit (10) eine vierte Recheneinheit aufweist zur Verbreiterung der einzelnen Bildpunkte in den für jeweils ein Auge bestimmten Bildern durch Verknüpfung des Bilddatensatzes mit einer Bildpunktverbreiterungsfunktion gemäß dem Bildschärfewert ( $S$ ).
9. Bildwiedergabegerät (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine mit der Detektionseinheit (12) verbundene Nachführvorrichtung (13, 11) zur Positionsänderung der Projektoren (4.1, 4.2) und/oder des Strahlenganges der Projektoren (4.1, 4.2) mittels mindestens eines Umlenkspiegels bei einer Bewegung des Betrachters in Abhängigkeit von der durch die Detektionseinheit (12) bestimmten Position der Augen ( $A_L, A_R$ ) des Betrachters.
10. Bildwiedergabegerät (5) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Nachführvorrichtung (13) einen Positionierschlitten (11) aufweist, auf dem die beiden Projektoren (4.1, 4.2) verschiebbar und/oder drehbar angeordnet sind.
11. Bildwiedergabegerät (5) nach einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildverarbeitungseinheit (10) mit der Detektionseinheit (12) verbunden und derart ausgebildet ist, daß die Perspektive des für das linke Auge ( $A_L$ ) und des für das rechte Auge ( $A_R$ ) des Betrachters bestimmten Bildes auch bei einer Bewegung des Betrachters an die von der Detektionseinheit (12) bestimmte Position ( $P_1, P_2$ ) des Betrachters angepaßt ist.
12. Bildwiedergabegerät (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fokussierungsvorrichtung (14) zur Kompensation einer Fehlsichtigkeit des Betrachters derart ausgebildet ist, daß die beiden Bilder entsprechend einem die Fehlsichtigkeit wiedergebenden Korrekturwert in einer von der Konvergenzentfernung (KE) abweichenden Entfernung zum Betrachter scharfgestellt sind.
13. Bildwiedergabegerät (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Bilddatensatz Luminanzwerte ( $L$ ) und/oder Chrominanzwerte ( $C$ ) und/oder Transparenzwerte enthält.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen



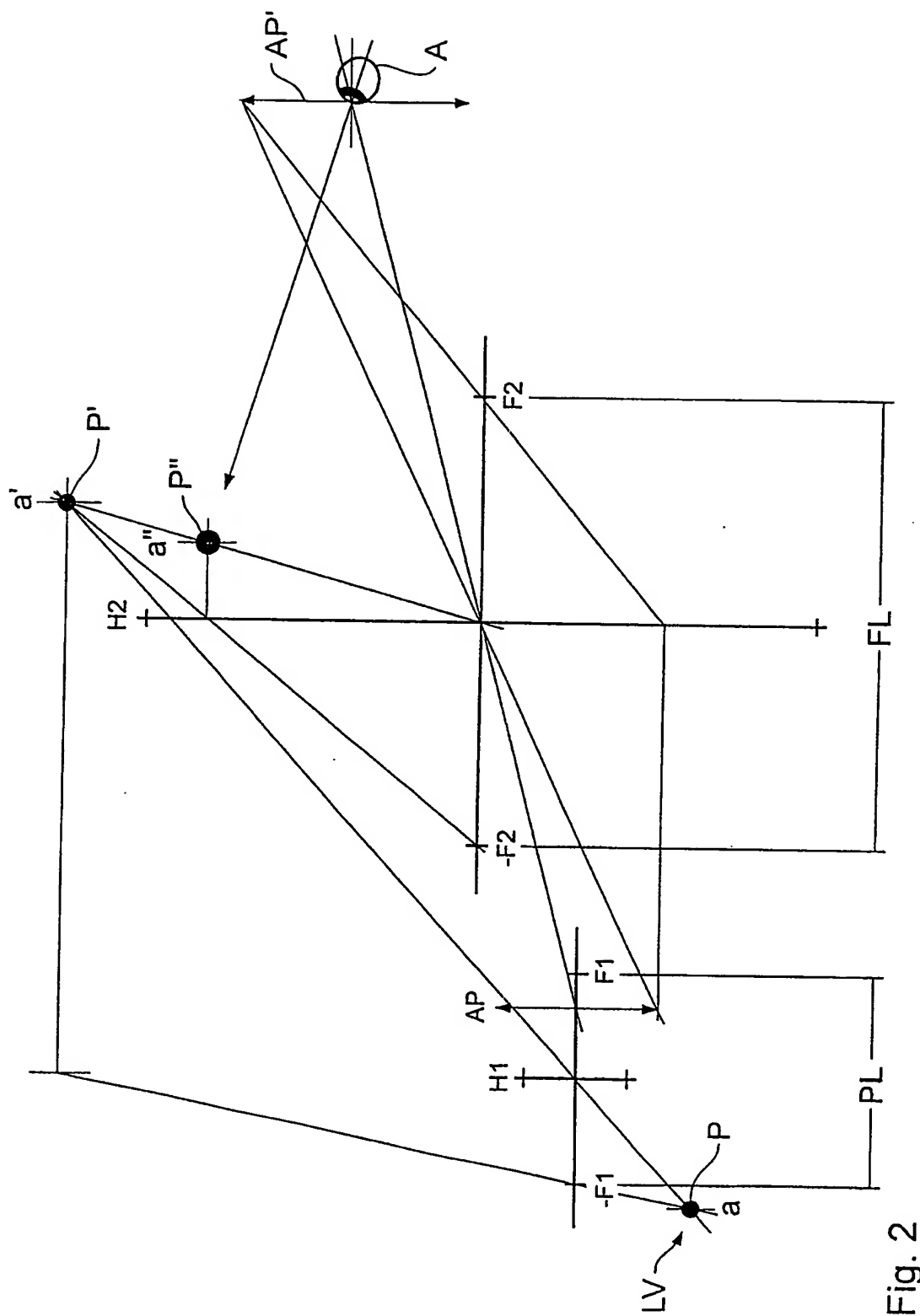


Fig. 2

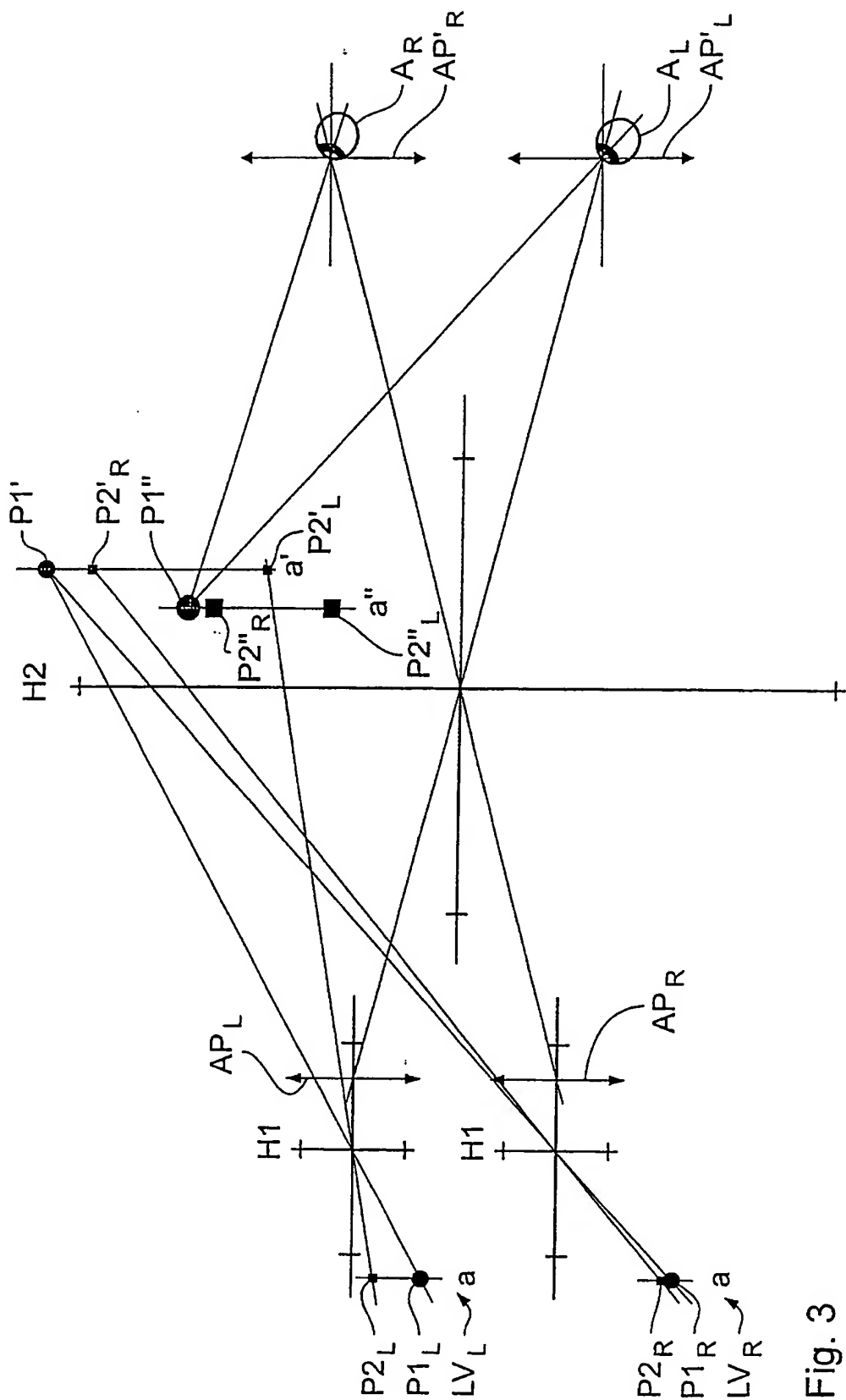


Fig. 3